

УДК 581.1.032

Л. Н. БАБУШКИН

ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПОГЛОЩЕНИЯ ПАРОВ ВОДЫ ИЗ МЕЖКЛЕТОЧНОГО ПРОСТРАНСТВА ЛИСТЬЕВ РАСТЕНИЙ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 4 XII 1969)

В ряде наших работ (¹⁻³) дано описание явления поглощения паров воды, осуществляемое внутренними тканями листьев. Наблюдавшееся многими авторами поглощение паров воды листьями из наружного воздуха мы рассматриваем как проявление процесса, протекающего в межклеточном пространстве (^{4, 5}). Для изучения механизма процесса поглощения паров воды из межклеточного пространства необходимы данные о его термодинамике.

Как показывают расчеты теплового баланса, при захвате листьями пара из наружной атмосферы с интенсивностью 1 г/дм^2 в час, при его конденсации температура листьев должна подняться на 7° . В наших многочисленных исследованиях мы наблюдали интенсивности захвата паров, часто превышающие $0,5 \text{ г/дм}^2$ в час, поэтому обнаружить ожидавшийся тепловой эффект в несколько градусов можно даже несложными электротермометрами.

Исследование термодинамики процесса поглощения паров воды мы проводили при искусственном, постоянном по интенсивности освещении растений лампами накаливания в неподвижном воздухе. Осуществлялись измерения разности между температурой листа и воздуха (Δt) при помощи батарей медноконстантановых термопар в сочетании с гальванометром М 196/2 (1 деление равно $0,0715^\circ$) и измерения интенсивности транспирации или интенсивности поглощения водяного пара из наружного воздуха при помощи усовершенствованных транспиromетров нашей конструкции (^{6, 7}).

Сначала определения интенсивности транспирации и Δt проводились у листьев, отделенных от растения. По данным (¹), подъем транспирации после отделения листьев происходит вследствие снижения $P_{\text{H}_2\text{O}}$. Часто наблюдающиеся при постоянном освещении и у неповрежденных листьев изменения интенсивности транспирации мы объясняем также главным образом изменением величины $P_{\text{H}_2\text{O}}$.

Для расчетов теплового баланса листа в неподвижном воздухе с постоянным источником облучения мы пытались применить уравнение Брауна и Эскомба (⁸), на приемлемость которого при исследованиях с источниками искусственного света было указано в работах (^{9, 10}).

Однако, обрабатывая экспериментальные данные, мы пришли к выводу, что для изучения изменений транспирации и Δt , это уравнение Брауна и Эскомба во многих случаях неприменимо из-за большого несоответствия между расчетной и фактической величинами Δt в ряде опытов, которое достигало 6° — у одних видов растений больше, у других — значительно меньше. Поэтому мы преобразовали уравнение Брауна и Эскомба, введя в него величину $K_{\text{П}} P_{\text{H}_2\text{O}}$:

$$Q_{\alpha} = K_{\text{T}} T + K_{\text{П}} P_{\text{H}_2\text{O}} + 2K_{\text{I}} \Delta t.$$

Здесь Q_{α} — количество энергии, поглощенное листом ($\text{эрг/см}^2 \cdot \text{сек}$); K_{T} — теплота парообразования воды ($2,42 \cdot 10^{10} \text{ эрг/г}$); T — интенсивность транспирации ($\text{г/см}^2 \cdot \text{сек}$); $K_{\text{П}}$ — теплота $P_{\text{H}_2\text{O}}$ (эрг/г); $P_{\text{H}_2\text{O}}$ — интенсивность

поглощения паров воды ($\text{г/см}^2 \cdot \text{сек}$); K_i — коэффициент теплоотдачи ($10\,500 \text{ эрг/см}^2 \cdot \text{сек} \cdot \text{град}$); Δt — разность между температурой листа и воздуха ($^{\circ}\text{C}$).

В таком виде уравнение теплового баланса листьев позволяет получить расчетные данные, очень близкие с фактическими, для всех изученных нами видов растений.

Величину K_{II} можно вычислить по параметрам, измеренным при разных значениях T , $\Pi_{\text{H}_2\text{O}}$ и Δt в неподвижном воздухе и постоянном источнике излучения. При изменении транспирации от T_1 до T_2 , поглощения паров от $\Pi_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)}$ до $\Pi_{\text{H}_2\text{O}}^{(2)}$ и Δt от Δt_1 до Δt_2 при $Q_\alpha = \text{const}$ уравнение для K_{II} примет вид:

$$K_{II} = \frac{K_T (T_2 - T_1) - 2K_i (\Delta t_1 - \Delta t_2)}{\Pi_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)} - \Pi_{\text{H}_2\text{O}}^{(2)}} \text{ эрг/г.}$$

В табл. 1 приведены величины K_{II} для 10 видов растений, найденные по изменению T и Δt . Как видно из таблицы, у одних видов $K_{II} > K_T$, у других $K_{II} < K_T$. Следовательно, уравнение Брауна и Эскомба справедливо для видов, у которых K_{II} близко к K_T .

Кроме того, для 6 видов растений мы провели измерения и расчеты K_{II} по изменению поглощения паров воды листьями из наружного воздуха (табл. 1). В данном случае мы непосредственно измеряли $\Pi_{\text{H}_2\text{O}}$ и Δt . Расчет K_{II} проводился по формуле:

$$K_{II} = K_T - \frac{2K_i (\Delta t_1 - \Delta t_2)}{\Pi_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)} - \Pi_{\text{H}_2\text{O}}^{(2)}} \text{ эрг/г.}$$

Различия между величинами K_{II} , измеренными двумя способами, оказались незначительными, поэтому в табл. 1 приводятся средние значения K_{II} , определенные двумя методами.

Таблица 1

Значения теплоты процесса $\Pi_{\text{H}_2\text{O}}$ (K_{II}) в 10^{10} эрг/г, найденные двумя методами

| Виды растений | По изменению транспирации | По изменению $\Pi_{\text{H}_2\text{O}}$ | Средние значения |
|--------------------------------------|---------------------------|---|-------------------|
| <i>Helianthus annuus</i> L. | 1,445 | — | $1,445 \pm 0,017$ |
| <i>Licopersicum esculentum</i> Mill. | 1,480 | — | $1,480 \pm 0,13$ |
| <i>Capsicum annuum</i> L. | 1,595 | — | $1,595 \pm 0,014$ |
| <i>Hibiscus rosa sinensis</i> L. | 1,805 | 2,042 | $1,923 \pm 0,072$ |
| <i>Cucumis sativus</i> L. | 1,950 | 2,033 | $1,989 \pm 0,051$ |
| <i>Solanum melongena</i> L. | 2,100 | 2,080 | $2,090 \pm 0,03$ |
| <i>Beta vulgaris</i> L. | 2,090 | 1,942 | $2,014 \pm 0,06$ |
| <i>Amaranthus retroflexus</i> L. | 2,438 | — | $2,438 \pm 0,01$ |
| <i>Zea mays</i> L. | 2,790 | 2,725 | $2,732 \pm 0,04$ |
| <i>Triticum aestivum</i> L. | 3,010 | 3,231 | $2,175 \pm 0,072$ |

В качестве примера на рис. 1 приведены данные двух опытов, которые были использованы для расчетов K_{II} двумя методами.

Данные табл. 1 свидетельствуют об эндотермичности процесса поглощения паров воды, следовательно, ни о какой конденсации паров воды не может быть речи. Можно предполагать более сложный механизм процесса, так как при длительном протекании поглощения требуется непрерывная затрата тепловой энергии. Постоянное протекание поглощения обусловлено тем, что, вероятно, акцепторы паров воды непрерывно регенерируются, но при этом мы не наблюдали выделения тепла. В таком случае тепловая энергия, затраченная на поглощение паров, должна превращаться в иные

формы движения. Согласно нашим косвенным данным мы предполагаем, что в процессе поглощения паров воды тепловая энергия преобразуется в гидродинамическую энергию активного давления, выполняющую в растении важные физиологические функции. Таким образом, неупорядоченное движение превращается в упорядоченную форму движения и в соот-

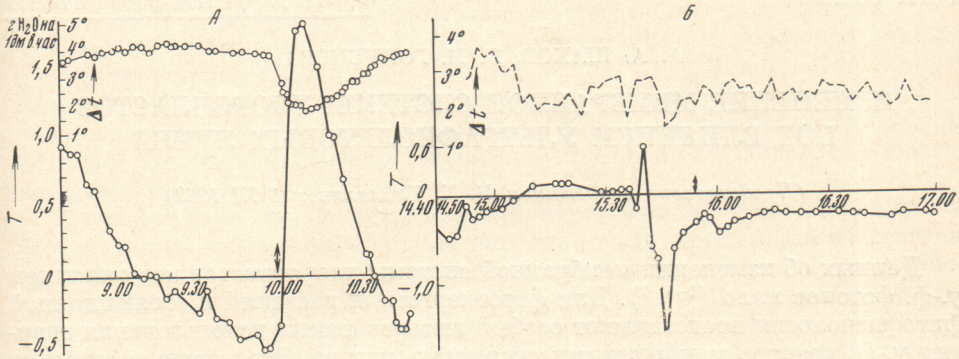


Рис. 1. Временной ход транспирации (T) и разности температур между листом и воздухом (Δt) у листа баклажанов (А) и озимой пшеницы (Б). Стрелкой показано время отделения листа от растения

ветствии со 2 законом термодинамики не является единственным результатом данного термодинамического процесса, т. е. всегда сопровождается компенсирующим процессом; в данном случае таковым, вероятно, является регенерация акцепторов паров воды. В процессе поглощения паров воды происходят превращения веществ и энергии, информация о которых в настоящее время незначительна.

Молдавский научно-исследовательский
институт орошаемого земледелия и овощеводства
Кишинев

Поступило
28 XI 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. Н. Бабушкин, ДАН, 179, № 1 (1968).
- ² Л. Н. Бабушкин, ДАН, 187, № 2 (1969).
- ³ Л. Н. Бабушкин, Тр. Молд. н.-и. инст. орошаемого земледелия и овощеводства, 10, в. 1 (1969).
- ⁴ Л. Н. Бабушкин, ДАН, 155, № 5 (1964).
- ⁵ Л. Н. Бабушкин, Тр. Молд. н.-и. инст. орошаемого земледелия и овощеводства, 5, в. 2 (1964).
- ⁶ Л. Н. Бабушкин, Физиол. раст., 7, в. 4 (1960).
- ⁷ Л. Н. Бабушкин, Тр. Молд. н.-и. инст. орошаемого земледелия и овощеводства, 2 (1960).
- ⁸ Н. Т. Brown, M. F. Escombe, Proc. Roy. Soc. London, Ser. B, 76, 29 (1905).
- ⁹ А. Ф. Клешнин, Б. П. Строганов, И. А. Шульгин, Физиол. раст., 2, № 6 (1955).
- ¹⁰ И. А. Шульгин, Сборн. научных студенческих работ, М., 1957.